

PENDUGA MODEL HUBUNGAN TINGGI DAN DIAMETER POHON JENIS JAMBU-JAMBU (*Kjellbergiodendron sp.*) PADA HUTAN ALAM DI KAB MAMUJU SULAWESI BARAT

Beta Putranto

Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan KM 10 Tamalanrea Makassar
Alamat email : betaputranto@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan penduga model hubungan tinggi dan diameter pohon yang paling sesuai untuk jenis jambu-jambu pada hutan alam di Mamuju, Sulawesi Barat. Penduga model yang diperoleh diharapkan dapat digunakan untuk menduga volume pohon, menentukan posisi sosial pohon dalam tegakan, menentukan indeks produktivitas tegakan, dan menggambarkan dinamika pertumbuhan tegakan. Penelitian dilakukan pada dua lokasi di Mamuju. Petak ukur berbentuk bujur sangkar 20 m x 20 m sebanyak 50 petak ukur yang dipilih secara sistematis dengan jarak sama pada masing-masing lokasi. Setiap pohon dalam petak ukur diukur diameter setinggi dada dan tinggi total. Analisis dilakukan terhadap 38 pohon jambu-jambu yang ditemukan pada 100 petak ukur. Sebanyak 27 pohon digunakan dalam penyusunan model. Enam model yang terdiri atas tiga model yang secara intrinsik linier dan tiga model non-linier digunakan dalam analisis. Validasi model dilakukan dengan menghitung skor berdasarkan besarnya bias rata-rata, penduga kuadrat tengah galat (MSEP) dan indeks galat (EI) terhadap seluruh pohon. Analisis yang sama juga dilakukan terhadap tinggi maksimum untuk setiap pengamatan diameter. Hasil analisis menunjukkan bahwa berdasarkan kriteria R^2 , model yang secara intrinsik linier memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan model non-linier. Model yang menggunakan peubah tak bebas tinggi maksimum mempunyai nilai R^2 yang lebih besar dibandingkan dengan model yang menggunakan peubah tak bebas tinggi seluruh pohon sehingga penduga model yang digunakan adalah model yang menggunakan peubah tak bebas tinggi total maksimum. Hasil validasi model menunjukkan bahwa tiga peringkat teratas adalah model non-linier sehingga model yang secara intrinsik linier tidak dipertimbangkan sebagai penduga model meskipun mempunyai nilai R^2 yang lebih besar. Hasil Uji-t menunjukkan bahwa ke tiga penduga model non-linier tersebut merupakan penduga yang tidak berbias. Penduga model yang paling baik bagi jenis jambu-jambu adalah model non-linier yang mempunyai bentuk sigmoid bertipe logistik.

Kata kunci : tinggi, diameter, jambu-jambu, linier, non-linier.

PENDAHULUAN

Pertambahan penduduk dan laju pembangunan yang sangat pesat berimplikasi pada meningkatnya permintaan kayu secara tajam, sementara persediaan kayu semakin terbatas karena berkurangnya luas hutan sebagai akibat dari praktik-praktik pembalakan liar serta konversi hutan untuk kepentingan-kepentingan lain di luar kehutanan. Dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan kayu yang semakin terbatas jumlahnya, berbagai upaya telah dilakukan, baik yang berhubungan dengan perbaikan sistem pengelolaan hutan, perbaikan sifat-sifat kayu melalui teknik-teknik silvikultur dan pemuliaan pohon maupun teknik-teknik yang berhubungan dengan pemanfaatan kayu mulai dari pemanenan sampai ke industri. Pengelolaan hutan yang baik harus didasarkan pada perencanaan yang didukung oleh informasi yang akurat dan dapat dipercaya yang berhubungan dengan keadaan hutan itu sendiri, mulai dari kondisi permudaan, potensi hutan serta pertumbuhannya.

Pada umumnya, dalam pendugaan potensi hutan, khususnya potensi volume, memerlukan pengukuran tinggi dan diameter pohon. Pengukuran tinggi pohon biasanya lebih sulit sehingga dapat memakan waktu lama dan mahal sedang pengukuran diameter dapat dilakukan dengan mudah dan relatif murah. Jika tersedia data tinggi dan diameter maka dapat dirumuskan model hubungan tinggi-diameter di mana tinggi merupakan fungsi dari diameter. Selanjutnya, berdasarkan penduga model hubungan tinggi-diameter tersebut dapat diduga besarnya tinggi pohon hanya dengan melakukan pengukuran diameter sehingga waktu dan biaya yang dibutuhkan dalam kegiatan inventarisasi hutan, khususnya dalam pendugaan volume tegakan dapat ditekan.

Pertumbuhan merupakan pertambahan dimensi dari satu atau lebih individu dalam suatu tegakan hutan pada periode waktu tertentu (Husch *et al.*(1972); Vanclay (1994)). Setiap pohon mengalami dua bentuk pertumbuhan yang berbeda, yaitu pertumbuhan vertikal atau tinggi dan pertumbuhan horizontal atau diameter. Pertumbuhan tinggi dan diameter menyebabkan terjadinya perubahan ukuran dan bentuk pohon yang pada gilirannya sangat menentukan dalam pendugaan volume pohon maupun tegakan. Pengembangan metode pendugaan potensi hutan, termasuk di dalamnya pendugaan model hubungan antara karakteristik individual pohon seperti tinggi dan diameter telah banyak dilakukan. Berbagai fungsi yang menyatakan hubungan tinggi dan diameter telah banyak dipelajari dan diteliti (Husch *et al.*(1972); Huang *et al.* (2000); Newton dan Amponsah (2007); Adame, *et al.* (2008)). Meskipun demikian, penelitian-penelitian tentang pertumbuhan dan hubungan antara karakteristik pohon masih terus dilakukan karena tidak ada satupun model atau formula yang sesuai untuk semua jenis pohon. Selain itu, pertumbuhan suatu pohon dipengaruhi oleh kemampuan genetiknya dalam berinteraksi dengan faktor lingkungan seperti iklim, tanah dan topografi serta kemampuan berkompetisi dalam memperoleh makanan dan ruang tumbuh. Jadi setiap jenis atau kelompok jenis pohon dapat mempunyai pertumbuhan dan ukuran batang yang berbeda sebagai akibat dari interaksi faktor-faktor tersebut (Husch *et al.*(1972); Huang *et al.* (2000)).

Dalam rangka untuk meningkatkan keakuratan model sebagai dasar dalam pengambilan keputusan pengelolaan hutan perlu dilakukan penelitian yang berhubungan dengan pengembangan model hubungan tinggi dan diameter pohon yang berbasis wilayah karena hubungan antara pertumbuhan dan hasil sering bervariasi antara satu wilayah dengan lainnya. Selama ini penelitian-penelitian tentang hubungan antara tinggi dan diameter pohon lebih banyak diarahkan pada hutan tanaman yang pada umumnya merupakan tegakan seumur dibandingkan pada hutan alam yang terdiri atas berbagai jenis pohon dengan umur yang bervariasi. Belum banyak penelitian sejenis yang dilakukan pada hutan alam tropika terutama hutan alam tropika di Sulawesi. Berdasarkan alasan tersebut maka dilakukan penelitian yang berhubungan dengan model hubungan tinggi dan diameter pohon jenis jambu-jambu pada hutan alam di Kabupaten Mamuju Sulawesi Barat.

ALAT DAN BAHAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan adalah *roll meter*, pita diameter, Hagameter, GPS, *Abney Level*, komputer, seperangkat alat keamanan kerja & survei dan alat tulis. Bahan yang dibutuhkan adalah batang pohon yang ada pada lokasi penelitian.

Metode Pengambilan Sampel

Penelitian dilakukan pada dua lokasi di Kabupaten Mamuju Sulawesi Barat. Lokasi I terletak di Kecamatan Bonehau, yaitu pada posisi koordinat 119°14'38" Bujur Timur (BT) dan 2°32'58" Lintang Selatan (LS), sedang lokasi II terletak di Kecamatan Topoyo, yaitu pada posisi koordinat 119°31'13" BT dan 1°55'41" LS Petak ukur untuk pengukuran pohon berbentuk bujur sangkar berukuran 20 m x 20 m yang ditetapkan sebanyak 50 petak ukur pada masing-masing lokasi. Penentuan petak ukur dilakukan dengan menggunakan teknik penarikan sampel secara sistematis dengan jarak antar petak ukur 50 m.

Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara pengukuran, pengamatan dan studi dokumen. Data yang dikumpulkan meliputi data primer dan data sekunder. Data primer terdiri atas diameter setinggi dada dan tinggi total pohon. Setiap pohon dalam petak ukur diukur diameter setinggi dada dan tinggi total serta dicatat jenis pohonnya. Pengukuran tinggi dilakukan dengan menggunakan Hagameter. Pengukuran diameter setinggi dada dilakukan dengan menggunakan pita diameter atau pita meter pada tinggi 130 cm dari permukaan tanah. Untuk pohon yang berbanir, jika tinggi banir kurang dari 130 cm, diameter diukur pada tinggi 130 cm. Jika tinggi banir lebih dari 130 cm, pengukuran diameter dilakukan pada jarak 20 cm di atas banir. Data sekunder terdiri atas kondisi biofisik lokasi pengambilan sampel, seperti jenis tanah, curah hujan dan topografi.

Metode Analisis Data

Sekitar 70% dari data hasil pengukuran digunakan untuk menentukan penduga model hubungan antara tinggi pohon sebagai peubah tak bebas dan diameter pohon sebagai peubah bebas dengan menggunakan analisis regresi, baik regresi linier maupun non linier. Enam model yang terdiri atas tiga model yang secara intrinsik linier dan tiga model non-linier digunakan dalam analisis. Untuk keperluan analisis, ditambahkan satu informasi mengenai diameter semai pada tinggi total sekitar 130 cm (untuk menghindari kesalahan dalam perhitungan bilangan riil yang melibatkan pembagian dan logaritma maka ditetapkan pada tinggi 131 cm, diameternya 0,1 cm). Selain menggunakan data seluruh pohon hasil pengukuran, analisis juga dilakukan terhadap hubungan antara diameter dengan tinggi maksimum dari pohon yang mempunyai diameter yang sama dengan pertimbangan bahwa tinggi maksimum dari setiap diameter lebih mencerminkan pertumbuhan ideal pohon.

Persamaan dari model yang dianalisis adalah :

- (1). MT1 : $H = 1,3 + aD^b$
- (2). MT2 : $H = 1,3 + aD^b$
- (3). MT3 : $H = 1,3 + \frac{D^2}{a+bD^2}$
- (4). MT4 : $H = 1,3 + \frac{a}{1+be^{-cD}}$
- (5). MT5 : $H = 1,3 + \frac{aD}{b+D}$
- (6). MT6 : $H = 1,3 + \frac{a}{1+1/(bD^c)}$

Di mana :

H adalah tinggi total pohon (m)

D adalah diameter setinggi dada (cm)

a, b, dan c adalah penduga parameter

Model MT1, MT2 dan MT3 merupakan persamaan dari model yang secara intrinsik linier sehingga untuk keperluan analisis, model tersebut ditransformasikan lebih dahulu menjadi bentuk linier dalam parameter. Setelah ditransformasi, ke tiga model tersebut dianalisis dengan menggunakan analisis regresi linier sederhana. Bentuk transformasi dari model tersebut adalah :

$$\text{MT1 : } \ln(H - 1,3) = \ln a + b\left(\frac{1}{D}\right)$$

$$\text{MT2 : } \ln(H - 1,3) = \ln a + b \ln D$$

$$\text{MT3 : } \frac{1}{H-1,3} = b + a\left(\frac{1}{D^2}\right)$$

Evaluasi kesesuaian model dan penentuan calon penduga model terbaik dilakukan dengan menggunakan kriteria Koefisien Determinasi (R^2) untuk model linier atau *pseudo-coefficient of multiple determination* untuk model non linier. *Pseudo-coefficient of multiple*

determination adalah nilai R^2 pada model non linier yang dihitung dengan menggunakan rumus :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Untuk menentukan model mana yang paling baik sebagai penduga hubungan antara diameter dan tinggi pohon, dilakukan validasi terhadap ke-enam model tersebut . Salah satu pendekatan yang dilakukan sebagai pertimbangan untuk melakukan validasi menurut Draper dan Smith (1992) adalah membuang m amatan dan menggunakan n-m amatan lainnya untuk memperoleh persamaan regresi. Selanjutnya memvalidasi persamaan tersebut dengan m amatan yang dibuang. Kriteria yang digunakan dalam melakukan validasi adalah besarnya bias rata-rata absolut, *mean squared error prediction* (MSEP) dan Indeks galat (EI). Semakin rendah nilai ketiganya semakin baik penduga model yang digunakan. Penduga model dengan nilai bias, MSEP dan EI terendah diberi skor 6, sedang penduga model dengan nilai tertinggi diberi skor 1. Penduga model dengan jumlah total skor tertinggi dipertimbangkan sebagai model terbaik. Rumus bias rata-rata dan MSEP (Rawlings, 1988) serta EI (Reynolds *et al.*, 1988) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Bias &= \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \\ MSEP &= \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \\ EI &= \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| \end{aligned}$$

Di mana :

Y_i adalah nilai pengamatan ke i

\hat{Y}_i adalah nilai dugaan ke i

n adalah banyaknya pengamatan

Selanjutnya, kelayakan dari suatu model dapat dilihat dari apakah penduga model yang diperoleh berbias atau tidak, dengan mengujinya menggunakan uji-t. Di samping itu, grafik dari model yang diperoleh harus juga diperiksa untuk mengetahui kesesuaian dari kecenderungan perilaku peubah respon (peubah tak bebas) dengan model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kedua lokasi pengambilan sampel mempunyai keadaan topografi yang relatif sama, yaitu bervariasi dari datar hingga sangat curam. Lokasi I terletak pada ketinggian sekitar 520 m dari permukaan laut dan Lokasi II terletak pada ketinggian sekitar 612 m dari permukaan laut.

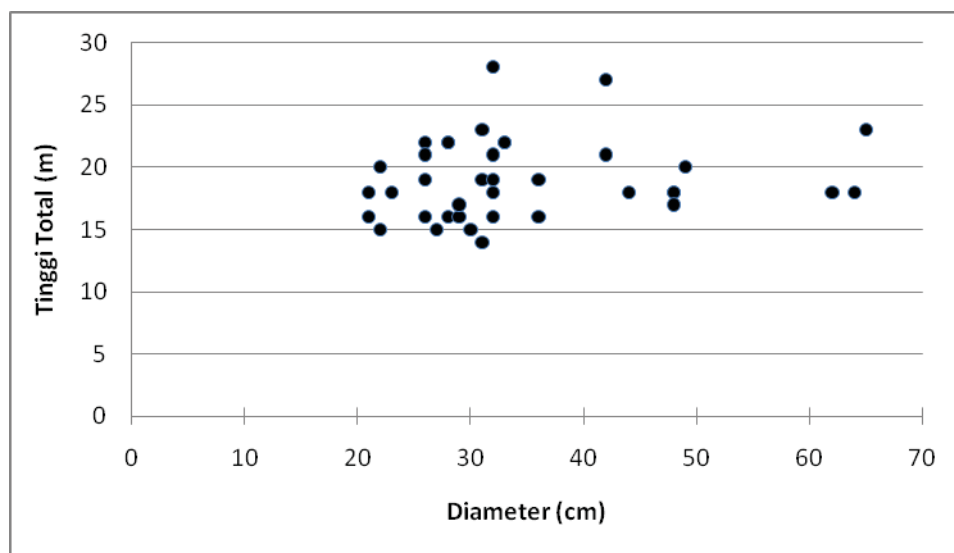
Jenis tanah pada lokasi I terdiri atas alluvial, latosol dan kambisol. Jenis tanah alluvial pada umumnya berada pada daerah datar, latosol berada pada daerah landai dan daerah curam hingga sangat curam, sedangkan jenis tanah kambisol pada umumnya berada pada daerah yang agak curam. Jenis tanah pada lokasi II terdiri atas podsolik merah kuning dan alluvial. Jenis tanah podsolik merah kuning terdapat pada topografi berbukit dan bergunung sedang tanah aluvial terdapat pada topografi datar.

Berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt dan Ferguson, tipe iklim pada kedua lokasi adalah sama yaitu termasuk dalam tipe iklim B. Kondisi iklim selalu basah atau hujan dengan curah hujan rata-rata tahunan di atas 2500 mm dan rata-rata bulan kering sekitar 1-2 bulan per tahun yang pada umumnya terjadi antara bulan Juni sampai dengan Oktober.

Komposisi jenis pohon yang menyusun hutan pada ke dua lokasi berdasarkan dari jumlah jenis yang ditemukan pada petak ukur yang diamati adalah relatif sama meskipun ada beberapa jenis yang ditemukan di lokasi I tetapi tidak ditemukan pada lokasi II dan sebaliknya. Pada lokasi I untuk tingkat semai ditemukan 26 jenis, tingkat pancang sebanyak 28 jenis, tingkat tiang sebanyak 32 jenis dan pohon sebanyak 32 jenis. Pada lokasi II untuk tingkat semai ditemukan 25 jenis, tingkat pancang sebanyak 28 jenis, tingkat tiang sebanyak 32 jenis dan pohon sebanyak 39 jenis. Jumlah pohon yang mempunyai diameter di atas 10 cm pada lokasi I sebanyak 455 pohon/ha. Dari jumlah tersebut, sekitar 4% adalah jenis jambu-jambu. Pada lokasi II terdapat sebanyak 582 pohon/ha, di mana 8% diantaranya adalah jenis jambu-jambu.

Berdasarkan hasil pengukuran pohon pada 100 petak ukur ditemukan sebanyak 38 batang pohon jenis jambu-jambu. Dari jumlah tersebut, sebanyak 27 batang yang dipilih secara acak digunakan dalam perhitungan pendugaan persamaan model yang dianalisis. Diameter pohon hasil pengukuran berkisar antara 21-65 cm dengan rata-rata 34,6 cm dan simpangan baku 11,6 cm. Tinggi pohon berkisar antara 14-28 m dengan rata-rata 19,0 m dan simpangan baku sebesar 3,2 m. Diagram pencar dari 38 pasang hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. menunjukkan bahwa secara umum pohon yang mempunyai diameter antara 20-30 cm mempunyai tinggi total rata-rata masih di bawah 20 m, kemudian ada kecenderungan tinggi pohon mengalami kenaikan yang relatif kecil pada kisaran diameter antara 30-70 cm. Fakta ini merupakan suatu indikasi bahwa pertumbuhan tinggi pohon pada kisaran diameter tersebut sudah mencapai pertumbuhan maksimum. Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa ada hubungan yang nyata antara tinggi dengan diameter pohon, baik yang menggunakan peubah tak bebas tinggi setiap individu pohon maupun tinggi maksimum. Hal ini sesuai dengan yang dinyatakan oleh Husch *et al.* (1972) bahwa jika ada dua variabel mempunyai korelasi dengan variabel lain maka kedua variabel tersebut akan berkorelasi satu dengan lainnya. Karena pertumbuhan tinggi dan diameter merupakan fungsi dari waktu yang berarti bahwa tinggi dan diameter mempunyai korelasi dengan waktu maka tinggi dan diameter mempunyai korelasi yang cukup kuat. Kuatnya hubungan antara tinggi dan diameter dinyatakan dengan besarnya nilai R^2 dari keenam model yang dianalisis seperti yang disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Diagram pencar hubungan tinggi dan diameter jenis jambu-jambu

Tabel 1. Nilai R^2 penduga model hubungan diameter dan tinggi pohon jenis jambu-jambu

No.	Model	Koefisien Determinasi (R^2)	
		Model dengan tinggi individu	Model dengan Tinggi maksimum
1.	MT1	0,990*	0,995*
2.	MT2	0,938*	0,950*
3.	MT3	0,999*	0,999*
4.	MT4	0,647	0,799
5.	MT5	0,653	0,790
6.	MT6	0,653	0,794

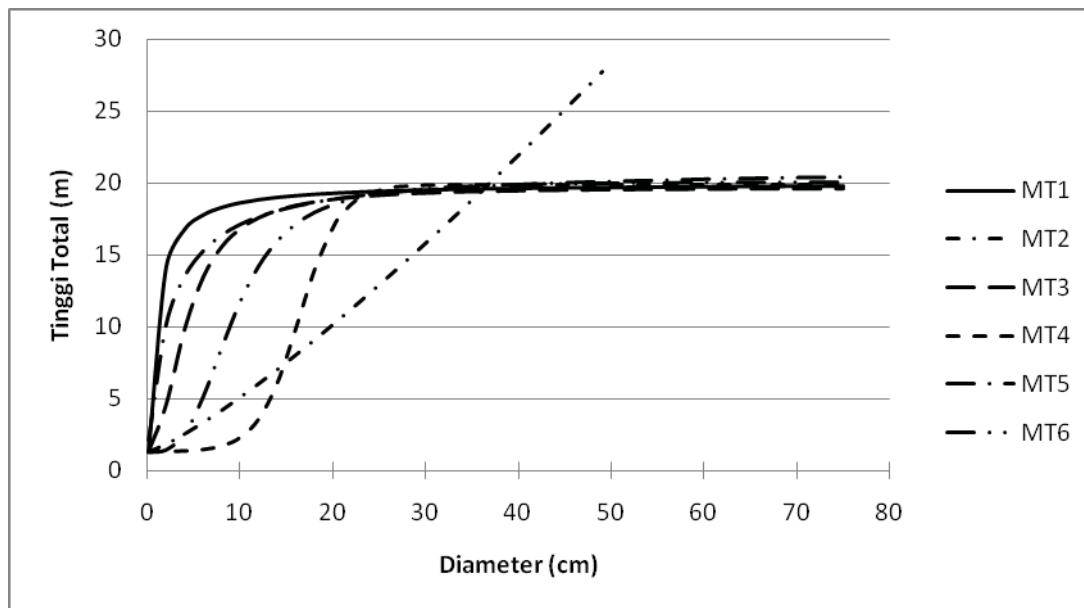
Keterangan : * diperoleh dari transformasi model aslinya menjadi model linier sederhana

Tabel 1. menunjukkan bahwa berdasarkan kriteria besarnya nilai R^2 , ternyata model yang secara intrinsik linier memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan model non linier. Secara umum, model yang menggunakan peubah tak bebas tinggi maksimum mempunyai nilai R^2 yang lebih besar dibandingkan dengan model yang menggunakan peubah tak bebas tinggi individu pohon hasil pengukuran. Kenaikan nilai R^2 yang cukup signifikan terjadi pada model non linier yaitu lebih besar dari 10%, sedang pada model yang secara intrinsik linier perubahan nilai R^2 nya relatif kecil. Dengan demikian, model yang digunakan dalam menduga hubungan antara diameter dengan tinggi pohon untuk jenis jambu-jambu adalah model yang menggunakan peubah tak bebas tinggi total maksimum. Berdasarkan Tabel 1., besarnya nilai R^2 untuk persamaan regresi yang menggunakan peubah tak bebas tinggi maksimum semuanya lebih besar dari 79%. Hal ini bermakna bahwa lebih dari 79% dari keragaman tinggi maksimum dapat dijelaskan oleh diameter setinggi dada. Dengan demikian, ke-enam model tersebut sudah cukup layak untuk menggambarkan hubungan antara tinggi dan diameter. Penduga parameter dari setiap model yang menggunakan peubah tak bebas tinggi maksimum disajikan pada Tabel 2, sedang Grafik ke enam persamaan penduga model hubungan antara tinggi dan diameter pohon jenis jambu-jambu dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 2. Penduga parameter model hubungan diameter dan tinggi maksimum pohon jenis jambu-jambu

No.	Model	Penduga Parameter			R^2
		A	b	c	
1.	MT1	18,6463	-0,7531	-	0,995*
2.	MT2	0,2306	1,2188	-	0,950*
3.	MT3	0,9995	0,0543	-	0,999*
4.	MT4	18,6013	1611,373	0,4524	0,799
5.	MT5	19,730	2,487	-	0,790
6.	MT6	18,8201	0,001	3,1007	0,794

Keterangan : * diperoleh dari transformasi model aslinya menjadi model linier sederhana



Gambar 2. Grafik model hubungan tinggi dan diameter jenis jambu-jambu

Untuk mengetahui model terbaik dari keenam persamaan regresi yang telah dihasilkan, dilakukan validasi terhadap keenam persamaan tersebut. Validasi model dilakukan dengan menggunakan seluruh data yang merupakan gabungan dari data yang digunakan dalam perhitungan penentuan persamaan regresi dari model yang dianalisis dan data sisanya karena jumlah data relatif kecil. Hasil validasi terhadap keenam persamaan regresi yang dihasilkan dinyatakan berdasarkan besarnya nilai Bias, MSE dan EI yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel3. Validasi model hubungan diameter dan tinggi jenis jambu-jambu

No.	Model	Bias		MSEP		Indeks galat (EI)		Total Skor	Peringkat
		Nilai	Skor	Nilai	Skor	Nilai	Skor		
1.	MT1	0,5239	3	12,1258	3	52,5869	3	9	4
2.	MT2	-0,6711	2	87,7491	1	145,1185	1	4	6
3.	MT3	0,6775	1	12,2383	2	52,3577	5	8	5
4.	MT4	0,4045	4	11,7357	6	51,6842	6	16	1
5.	MT5	0,3878	6	11,9339	4	53,0252	2	12	3
6.	MT6	0,3975	5	11,7848	5	52,4423	4	14	2

Berdasarkan peringkat yang diperoleh sesuai dengan total skor hasil validasi, ternyata bahwa model-model non linier lebih baik dibandingkan dengan model yang secara intrinsik linier meskipun mempunyai nilai R^2 lebih kecil. Posisi tiga model dengan peringkat terbaik berturut-turut adalah MT4, MT6 dan MT5. Hal ini sesuai dengan urutan nilai R^2 dari ke tiga model tersebut. Model yang secara intrinsik linier tidak dipertimbangkan sebagai penduga model hubungan diameter dan tinggi untuk jenis jambu-jambu meskipun mempunyai nilai R^2 yang jauh lebih besar karena ternyata hasil validasi terhadap model tersebut mempunyai nilai Bias, MSE dan EI dengan jumlah skor rendah. Hasil Uji-t bagi hipotesis bahwa bias = 0 bagi model MT4, MT5 dan MT6 (Tabel 4.) menunjukkan bahwa ketiganya merupakan model yang tidak berbias.

Tabel 4. Uji bias model jenis jambu-jambu

No.	Model	Uji Ho : Bias = 0	
		t hitung	P(T> t)
1.	MT4	0,504	0,620
2.	MT5	0,479	0,637
3.	MT6	0,495	0,627

Grafik pada Gambar 2. menunjukkan bahwa MT1, MT3, MT4, MT5 dan MT6 merupakan penduga model yang mempunyai batas atas, sedang MT2 merupakan penduga model monoton naik. Jika diperhatikan besarnya MSE dan EI, sebetulnya lima model selain MT2 mempunyai nilai yang relatif sama, sehingga ke lima model tersebut layak digunakan untuk menggambarkan hubungan diameter dan tinggi pohon yang sudah mencapai kondisi pertumbuhan maksimum. Hal ini sesuai dengan perilaku pertumbuhan tinggi pohon, di mana pada suatu tahap tertentu pertumbuhan tinggi pohon relatif tidak mengalami perubahan, meskipun diameter pohon masih bertambah (Whitmore, 1984). Ke lima model tersebut mempunyai batas atas pertumbuhan tinggi sekitar 20 m. Dari ke tiga model yang mempunyai total skor tertinggi pada validasi model, MT4 menggambarkan pertumbuhan tinggi yang lambat pada diameter di bawah 10 cm, sedang MT5 menggambarkan pertumbuhan tinggi yang terlalu cepat. MT6 menggambarkan pertumbuhan yang moderat pada fase pertumbuhan awal, yaitu pada diameter di bawah 20 cm. Menurut Prodan (1968) dan Whitmore (1984), pertumbuhan tinggi dan diameter dari individual pohon pada kondisi yang sangat baik mempunyai kecenderungan mengikuti bentuk kurva sigmoid, yaitu dimulai pada titik nol, lambat pada saat masih semai yang diikuti oleh pertumbuhan yang lebih cepat berbentuk linier. Sesudah melewati titik belok mengalami laju pertumbuhan yang semakin menurun dan akhirnya berhenti pada saat mencapai batas atas. Kurva berbentuk sigmoid ini merupakan ragam dari fungsi yang bertipe logistik. Gambar 1 menunjukkan bahwa penduga model MT4, MT5 dan MT6 merupakan persamaan dari fungsi yang bertipe logistik. Fungsi yang bertipe logistik mengandung ciri-ciri yang diinginkan dan bentuk kurva yang bervariasi berdasarkan nilai parameternya serta menghasilkan kurva yang memuaskan pada berbagai kondisi. Semua kurva bertipe logistik mempunyai bentuk yang masuk akal secara biologis yaitu mencegah terjadinya pendugaan tinggi yang tidak realistis jika dilakukan ekstrapolasi di luar kisaran data aslinya (Huang *et al.*, 2000). Persamaan tersebut sangat cocok untuk menggambarkan hubungan tinggi dan diameter. Dari ketiga model tersebut, MT6 merupakan penduga model yang paling sesuai untuk jenis jambu-jambu karena mempunyai pertumbuhan awal yang tidak terlalu cepat dan tidak terlalu lambat. Hasil yang sama juga direkomendasikan oleh Huang *et al.* (2000), yang mengevaluasi 27 model untuk menggambarkan hubungan tinggi dan diameter dari jenis white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) pada hutan *boreal*.

KESIMPULAN

1. Model non linier merupakan penduga model yang lebih baik bagi hubungan tinggi dan diameter jenis jambu-jambu dibandingkan dengan model yang secara intrinsik linier.
2. Model yang paling sesuai untuk menduga hubungan tinggi dan diameter jenis jambu-jambu adalah model non-linier berbentuk sigmoid (MT6) dengan persamaan

$$: H = 1,3 + \frac{189201}{1+1/(0,001D^{2,4997})}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Adame, P., del Río, M., and Cañellas, I. 2008. A mixed nonlinear height-diameter model for pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Forest Ecology and Management* **256**, 88-98.
- Draper, N.R. dan Smith, H. 1992. Analisis Regresi Terapan (Alihbahasa oleh Bambang Sumantri). Edisi Kedua. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Huang, S., Price, D., and Titus, S.J. 2000. Development of ecoregion-based height-diameter models for white spruce in boreal forests. *Forest Ecology and Management* **129**, 125-141.
- Husch, B., Miller, C.I. and Beers, T.W. 1972. *Forest Mensuration*. Second Edition. The Ronald Press Company. New York.
- Newton, P. F., and Amponsah, I. G. 2007. Comparative evaluation of five height-diameter models developed for black spruce and jack pine stand-types in terms of goodness-of-fit, lack-of-fit and predictive ability. *Forest Ecology and Management* **247**, 149-166.
- Prodan, M. 1968. *Forest Biometrics*. (Translated by Sabine H. Gardiner). Pergamon Press Ltd. Oxford. London.
- Rawlings, J.O. 1988. *Applied Regression Analysis : A Research Tool*. Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software. Pacific Grove, California.
- Reynolds, M.R., Burk, T.E., and Huang, W.C. 1988. Goodness of fit tests and model selection procedures for diameter distribution model. *Forest Science* **34**: 373-399.
- Vanclay, J.K. 1994. *Modelling Forest Growth and Yield, Applications to Mixed Tropical Forests*. CAB INTERNATIONAL, Wallingford. UK.
- Whitmore, T.C. and C.P. Burnham. 1984. *Tropical Rain Forests of the Far East*. second Edition. Oxford University Press. New York.